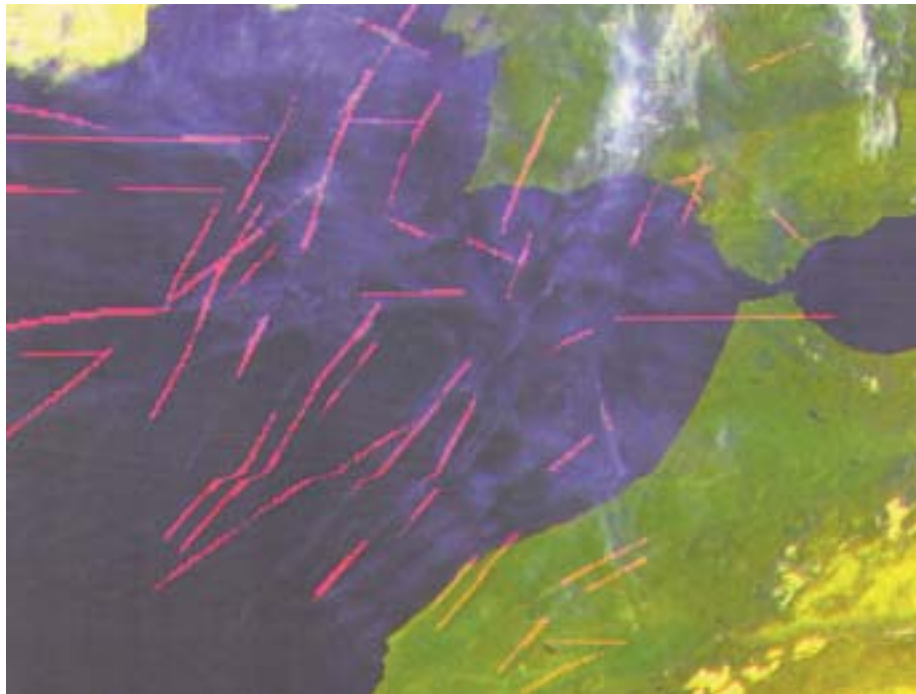


Luftverkehr und Klimawandel



©Meteosat

Kondensstreifen wie hier westlich von Spanien und Nordafrika tragen nach neuesten Erkenntnissen weniger zum Klimawandel bei als bisher angenommen.

Die Klimawirkung des weltweiten Luftverkehrs steht wieder im Rampenlicht der öffentlichen Diskussion. Wir sprachen mit Prof. Ulrich Schumann, Direktor des DLR-Institutes für Physik der Atmosphäre und Hauptautor des IPPC-Assessment „Aviation and the Global Atmosphere“.

Luft- und Raumfahrt: Der Luftverkehr wird gelegentlich als „Klimakiller Nummer 1“ bezeichnet. Würden Sie dieser Einschätzung zustimmen?

Schumann: Der Luftverkehr ist weder „Klimakiller“ noch „Klimaengel“. Solche vereinfachenden Schlagworte sollte man nicht benutzen, denn damit wird man unglaublich unwürdig.

Grundsätzlich muss man aber festhalten, dass der Klimawandel mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einem großen Teil vom Menschen verursacht wird. Der Luftverkehr hat zum bisherigen Klimawandel beigetragen und wird mit wachsendem Anteil weiter dazu beitragen, wenn es der Luftfahrt nicht gelingt, ihre Klimawirkungen zu vermindern.

Der Treibstoffverbrauch pro Flugreise in die Ferne ist erheblich und vergleichbar mit dem Jahresbedarf für das Heizen einer Wohnung. Zudem verursacht der Luftverkehr zusätzliches Ozon und Kondensstreifen und verstärkt damit den Treibhauseffekt.

Der Luftverkehr wächst relativ stark an. Ohne Zweifel, Luftverkehr ist notwendig.

Luftfahrt hat viele soziale, politische und ökonomische Vorteile. Fliegen wurde billiger und somit für immer mehr Menschen erschwinglich, was sicher viele freut. Aber wenn eines Tages die gesamte Menschheit so viel fliegen würde wie heute die Deutschen, dann hätten wir in mehrfacher Hinsicht ein Problem.

Für mich ist es das Wichtigste, sachliche Informationen über das Klima der Erde und seine Veränderungen bereitzustellen, um so ein Mitdenken und angemessene Handlungen aller zu ermöglichen. Ein dirigistisches Eingreifen des Staates verhindert optimale Lösungen. Die Bevölkerung ist zunehmend bereit, einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten.

Luft- und Raumfahrt: Wie groß ist die Klimawirkung des Luftverkehrs weltweit tatsächlich?

Schumann: Dazu muss man erst einmal definieren, was man unter Klimawirkung versteht. Das können die Emissionen von Treibhausgasen sein, oder deren Konzentra-

tion in der Atmosphäre, oder der so genannte Strahlungsantrieb als Maß für die langfristig zu erwartende Temperaturänderung, oder die Änderungen der globalen Temperaturen. Auf jede Frage gibt es eine andere Antwort. Simple Antworten sind meistens falsch.

Der Luftverkehr trägt derzeit rund 2 bis 2,4 Prozent zu den gesamten CO₂-Emissionen bei. Zum Anstieg der CO₂-Konzentration seit Beginn der Industrialisierung hat der Luftverkehr etwas weniger, nämlich etwa 1,7 Prozent beigetragen. Zusammen mit zusätz-

Prof. Ulrich Schumann



Prof. Ulrich Schumann ist seit 1982 Direktor des Instituts für Physik der Atmosphäre des DLR in Oberpfaffenhofen. Er ist Professor an der Fakultät für Physik der Ludwig-Maximilians-Universität München. Er war und ist wissenschaftlicher Koordinator vieler Forschungsprogramme, so z.B. eines Schwerpunktprogramms der Deutschen Forschungsgemeinschaft, der Atmosphärenforschung im BMBF/DLR-Verbundprogramm „Schadstoffe in der Luftfahrt“ und mehrerer EU-Projekte. Prof. Schumann hat als Hauptautor zum IPPC-Assessment „Aviation and the Global Atmosphere“ beigetragen. Mitte April wurde er von der European Geosciences Union mit der „Lewis Fry Richardson Medal“ ausgezeichnet, mit der herausragende Wissenschaftler auf dem Gebiet der nichtlinearen Geowissenschaften gewürdigt werden.

lichen Beiträgen über Stickoxide und Kondensstreifen trägt der bisherige Luftverkehr etwa 3 Prozent zum menschenbedingten Strahlungsantrieb bei. Aufgrund noch bestehender Unsicherheiten kann der Beitrag zwischen 2 und 8 Prozent liegen. So ist es auch im neuen Forschungsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC – nachzulesen, der sich in seinen Aussagen zum Luftverkehr im Wesentlichen auf die Forschungsergebnisse des DLR abstützt.

Der oft zitierte Faktor „drei“, mit dem man den CO₂-Ausstoß multiplizieren müsse, um die tatsächliche Klimawirkung zu ermitteln, erfasst näherungsweise die gesamten Klimawirkungen inklusive Ozon und Kondensstreifen im Verhältnis zum bisher emittierten CO₂. Der Faktor ist aber ungeeignet, die Klimawirkungen eines einzelnen Fluges oder des zukünftigen Luftverkehrs zu bewerten. Mit zunehmendem Zeithorizont werden der CO₂-Anteil größer und die Anteile von Ozon und Kondensstreifen kleiner.

Luft- und Raumfahrt: Welchen Beitrag zum Klimawandel liefern die CO₂-Emissionen, und wie groß sind sie im Einzelfall einer Flugreise?

Schumann: Die Internationale Energieagentur hat für das Jahr 2002 einen weltweiten Kerosinverbrauch von 213 Teragramm (Megatonnen) ermittelt, während Hochrechnungen aus den Flugbewegungen des Jahres 2002 einen Betrag von 176 Teragramm ergeben. In beiden Werten ist ein Anteil von 10 bis 15 Prozent für militärische Flüge enthalten. Interessant sind der Verbrauch und der CO₂-Ausstoß im Einzelfall einer Flugreise. Wer

zum Beispiel mit einem Airbus A321 von Frankfurt nach Palma de Mallorca fliegt, verbraucht für die 1251 Kilometer lange Strecke als einzelner Passagier 56,9 Liter Kerosin, das sind 4,55 Liter pro 100 Personenkilometer, und daraus ergibt sich ein CO₂-Ausstoß von 144 Kilogramm pro Passagier oder 115 Gramm pro Personenkilometer. Auf einer Langstrecke ist der absolute Verbrauch natürlich größer, der spezifische Verbrauch kleiner: Bei einem 7772 Kilometer langen Flug von München nach Peking mit einer A340-600 ergibt sich ein Verbrauch pro Passagier von etwa 310 Litern oder 4 Litern pro 100 Passagierkilometern. Der CO₂-Ausstoß beträgt für Hin- und Rückflug zusammen absolut etwa 1560 Kilogramm oder 100 Gramm pro Personenkilometer.

Die von Andreas Troke, Präsident des Umwelt-Bundesamtes vor einigen Wochen genannte Zahl von 6 Tonnen CO₂-Ausstoß bei einem Fernostflug ist nicht nachvollziehbar.

Luft- und Raumfahrt: Wirken sich CO₂-Emissionen aus Kraftwerken, Straßenverkehr und Privatverbrauch nur in Bodennähe aus oder werden sie über den atmosphärischen Luftaustausch auch in größere Höhe transportiert?

Schumann: CO₂ ist sehr langlebig und daher wird das am Boden erzeugte CO₂ ebenso wie das aus dem Luftverkehr durch den ständigen vertikalen Luftaustausch gleichmäßig über alle Höhen der Atmosphäre verteilt. Die Klimawirkung von CO₂ ist bei Emissionen am Boden genau so groß wie in Flughöhe. Dagegen ist die Wirkung von Stickoxid-



© DLR (2)

Über Europa bedecken Kondensstreifen bei bestimmten Wetterverhältnissen etwa 0,5 Prozent des Himmels.

emissionen von der Höhe abhängig. Stickoxide bewirken einen Anstieg der Ozonkonzentration. Die Ozonproduktion pro Stickoxid-Molekül ist in der oberen Troposphäre etwa einen Faktor zehn höher als in Bodennähe. Ozon ist wie CO₂ auch ein Treibhausgas. Zudem bilden Flugzeuge Kondensstreifen. Diese entstehen nur bei Flügen in kalter und feuchter Luft in großer Höhe.

Luft- und Raumfahrt: Die Klimawirkung der Kondensstreifen und der daraus entstehenden Zirren werden vom UBA als schädlicher bezeichnet als CO₂ und Stickoxide. Wie ist der Stand der Wissenschaft wirklich?

Schumann: Man muss unterscheiden zwischen Kondensstreifen und den zusätzlichen Zirren, die durch Kondensstreifen und Partikeln aus Luftverkehr verursacht werden. Nach unseren neuesten Erkenntnissen, nachzulesen im aktuellen IPPC-Bericht, sind die Wirkungen der Kondensstreifen weniger gravierend als bisher angenommen. Das liegt daran, dass Kondensstreifen dünner sind und daher weniger erwärmen, als vor ein paar Jahren angenommen wurde. Kondensstreifen bedecken über Europa etwa 0,5 Prozent des Himmels. Bisherige Aussagen, dass die aus Kondensstreifen entstehenden Zirren, der so genannte „Contrail Cirrus“, einen zehnmal höheren Bedeckungsgrad bewirken, sind nach neuesten Forschungsergebnissen nicht stichhaltig. Es ist noch sehr viel Forschung nötig, um den Beitrag des Luftverkehrs zur Veränderung der Bewölkung verbindlich zu bewerten.



Mit dem eigenen Forschungsflugzeug Falcon hat das DLR die Emissionen direkt hinter planmäßig fliegenden Verkehrsflugzeugen gemessen.



Mit einem vom DLR gestellten Sensor-Behälter hat das russische Höhenflugzeug „Geophysika“ Messungen bis in 20 Kilometern Höhe durchgeführt.

Luft- und Raumfahrt: Es wird vorgeschlagen, Flugzeuge tiefer fliegen zu lassen, um Kondensstreifen zu vermeiden. Ist das eine wirksame Strategie?

Schumann: Das ist kein sehr überlegter Vorschlag. Denn in geringeren Höhen entstehen zwar keine Kondensstreifen, aber dafür ist der Widerstand des Flugzeugs größer, und damit steigt nicht nur der Verbrauch pro Streckeneinheit, sondern das Flugzeug fliegt auch langsamer, so dass der Flug länger dauert und damit auch der Gesamtverbrauch steigt. Besser wäre es vielleicht, die Flugzeuge ganz im Gegenteil höher fliegen zu lassen. Denn die Kondensstreifen entstehen nur in einem schmalen Höhenbereich, in mittleren Breiten zwischen zehn und zwölf Kilometern. Fliegt man höher, entstehen erstens keine langlebigen Kondensstreifen, und zweitens ist der Luftwiderstand geringer, so dass auch der Verbrauch und die Emissionen sinken. Mit den meisten der heute gebräuchlichen Flugzeuge sind solche Höhen aber nicht erreichbar. Zudem muss man sicher sein, dass die kleinere Klimawirkung von Kondensstreifen nicht durch mehr Ozon ausgeglichen wird. Dies sind Herausforderungen für die Forschung und die Flugzeugindustrie.

Luft- und Raumfahrt: Noch vor einigen Jahren standen bei den Triebwerksherstellern neben dem CO₂ auch die Reduzierung der Stickoxide im Vordergrund der technischen Entwicklung. Wie hoch ist deren Wirkung einzuschätzen?

Schumann: Der Anteil des Luftverkehrs an den Stickoxid-Emissionen liegt bei 1,5 Prozent. Sie sind zwar kurzlebiger als das CO₂, aber sie steigen jährlich rund 1,5 Prozent stärker an als der Treibstoffverbrauch. Deshalb sehe ich noch nicht, wie das in der Vision 2020 des Rates für Luft- und Raumfahrtforschung in Europa ACARE angepeilte technologische Entwicklungs-Ziel von 80 Prozent Reduktion der Stick-

oxide bis zum Jahr 2020 im Flugbetrieb realisiert werden kann.

Das Problem liegt in einem Zielkonflikt in der Triebwerksauslegung. Denn die Senkung des Verbrauchs und damit des CO₂-Ausstoßes wird unter anderem durch eine heißere Verbrennung erreicht, um den Energieinhalt des Kerosins besser zu nutzen. Höhere Temperaturen in der Brennkammer führen aber leider meist auch zu einem höheren Anteil der Stickoxide.

Luft- und Raumfahrt: Das DLR führt auch Messungen zu Stickoxid-Emissionen in Gewittern durch. Gibt es dazu bereits erste Ergebnisse?

Schumann: Das DLR hat im Rahmen europäischer Forschungsprogramme, wie TROCCI-NOX, SCOUT-O3 und AMMA in den letzten Jahren Messflüge mit Forschungsflugzeugen nach Brasilien, Australien und Afrika durchgeführt und dort die Stickoxid-Emissionen ermittelt, die durch die Hitzewirkung der Blitze in Gewittern entstehen. Daraus können wir heute mit größerer Genauigkeit als früher abschätzen, dass durch Blitze weltweit etwa 5 Teragramm Stickoxide entstehen. Der Luftverkehr erzeugt weltweit etwa 0,7 bis 1 Teragramm Stickoxide, jeweils in Stickstoff-Masseneinheiten. Stickoxide tragen einerseits durch die Erhöhung der Ozon-Konzentration zum Klimawandel bei, andererseits vermindern sie das klimawirksame Methan, u.a. aus der Landwirtschaft. Deshalb liegt der Klimaeffekt der Stickoxide des Luftverkehrs nur bei rund 1 Prozent des gesamten menschengemachten Klimaeffekts.

Luft- und Raumfahrt: Welchen Beitrag könnte eine verbesserte Flugsicherung leisten, um Warteschleifen und Umwege zu vermeiden?

Schumann: Erst kürzlich haben Eurocontrol und der Verband der europäischen Airlines erklärt, dass eine harmonisierte Flugsicherung in Europa, Stichwort „Single European Sky“, dazu beitragen könnte, Umwege in den Luftstraßen zu vermeiden und damit 10 bis 12 Prozent Treibstoff einzusparen. Im 7. Rahmenprogramm der EU wird in einem großen Projekt SESAR die Implementierung einer einheitlichen Flugführung mit neuester Technologie vorbereitet.

Ein interessantes Potenzial liegt auch darin, dass man die Routen des Langstreckenverkehrs nicht mehr wie bisher nach Kosten- und Zeitvorteilen optimiert, sondern nach der Klimawirkung. Anhand kurzfristiger Wetterinformationen könnten Piloten und die Flugplanung Regionen bevorzugen, in denen in Reiseflughöhe die Luft nicht zu kalt und nicht zu feucht ist, so dass keine langlebigen Kondensstreifen entstehen.

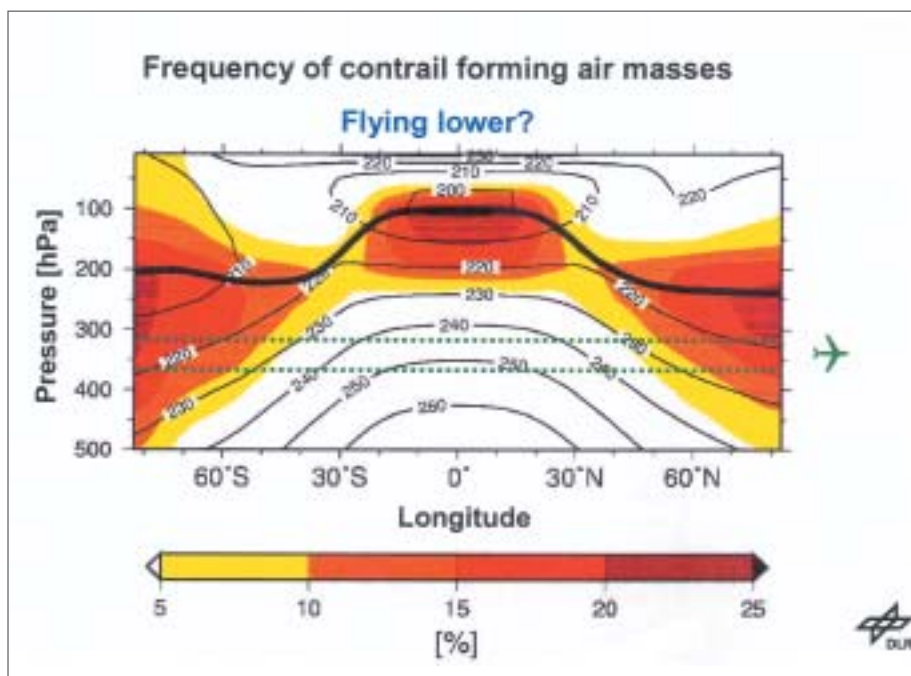
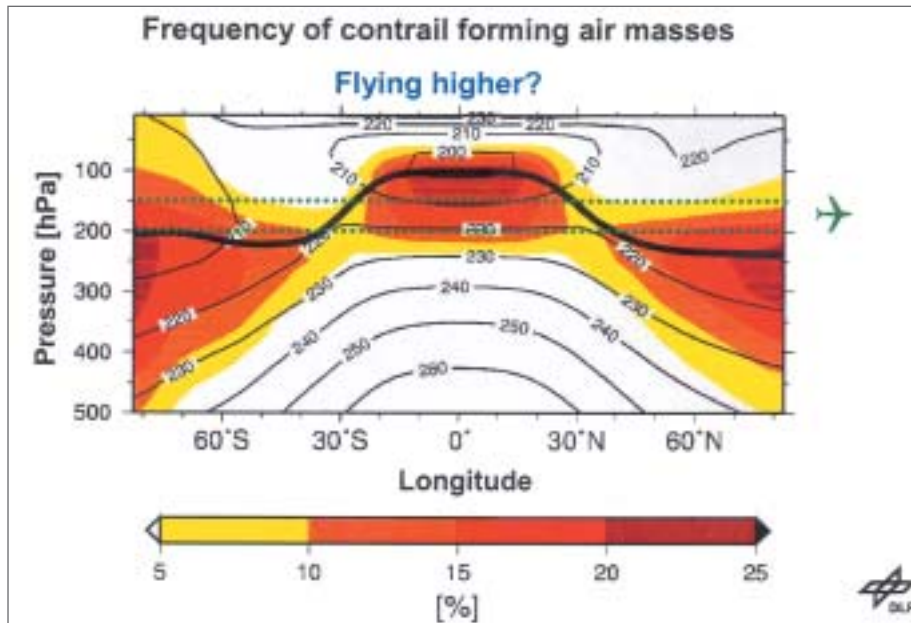
Luft- und Raumfahrt: Der Anstieg der Emissionen im Luftverkehr ist bereits vom Verkehrswachstum etwas entkoppelt. Was muss erreicht werden, um die Klimawirkung des Luftverkehrs zumindest auf dem heutigen Stand zu halten?

Schumann: Der Kerosinverbrauch steigt seit einigen Jahren mit 2 bis 3 Prozent deutlich langsamer als der Weltluftverkehr insgesamt, der bei den Passagierkilometern mit 4,6 Prozent und beim Frachtaufkommen mit 6,4 Prozent ansteigt. Durch sparsamere Triebwerke, verbesserte Aerodynamik und leichtere Bauweisen ist es also gelungen, den Verbrauchsanstieg zumindest zu einem Teil vom Verkehrswachstum zu entkoppeln. Aber dennoch bleibt es eine Aufgabe der Forschung und Luftfahrtindustrie, den CO₂-Ausstoß durch technische und operationelle Verbesserungen weiter zu senken.

Man darf nicht übersehen, dass der Luftverkehr mit ca. 5 bis 6 Prozent pro Jahr durchschnittlich doppelt so schnell wächst wie die Weltwirtschaft mit rund 2,6 Prozent. Deshalb muss alles getan werden, um den Verbrauch weiter zu senken. Wenn man von einer Verdoppelung des Luftverkehrs in den nächsten 20 Jahren ausgeht, dann müsste der spezifische Verbrauch bis dahin halbiert werden, um nur das Niveau von heute zu halten. Dies ist eines der großen Ziele der Vision 2020, wie es von ACARE auch formuliert wurde. Der A380 verspricht einen Verbrauch von etwa 3 Litern pro 100 Personenkilometern, und das bedeutet gegenüber den heutigen Flugzeugen wie A340 oder Boeing 777 schon eine Reduktion von etwa 25 Prozent. Aber die übernächste Generation muss noch mal einen deutlichen Fortschritt bringen, sonst sind die Klimaziele kaum zu erreichen.

Luft- und Raumfahrt: Sehen Sie in der Entwicklung von Bio-Kerosin eine Alternative, um die Klimawirksamkeit des Luftverkehrs zu reduzieren?

Schumann: Solche Alternativen klingen interessant, aber man muss dabei die Gesamtbilanz betrachten. Es hilft nichts, wenn zwar das Flugzeug keine fossilen Treibstoffe verbrennt, aber



Oben: In den heute beflogenen Höhen ist bei entsprechender Luftfeuchtigkeit je nach Breitengrad die Wahrscheinlichkeit der Kondensstreifenbildung sehr hoch.

Unten: Bei niedrigeren Flughöhen entstehen zwar keine Kondensstreifen, aber dafür steigt in der dichteren Luft der Widerstand, was zu höherem Verbrauch und mehr Emissionen führt.

die Erzeugung von Bio-Kerosin oder flüssigem Wasserstoff am Boden mehr Energie erfordert oder dabei andere Treibhausgase emittiert werden. Alternative Treibstoffe müssten also auch mit erneuerbaren Energien erzeugt werden können, sonst stimmt die Bilanz nicht.

Luft- und Raumfahrt: Welche Forschungsprogramme laufen derzeit beim DLR, auch in Zusammenarbeit mit anderen Instituten und mit Fluggesellschaften?

Schumann: Der Forschung ist einerseits darauf ausgerichtet, die bestehenden Unsicher-

heiten in der Bewertung der Klimawirkungen des Luftverkehrs zu reduzieren, die insbesondere im Zusammenhang mit Kondensstreifen, Partikeln und Zirren und der damit verbundenen Chemie noch sehr groß sind (Projekte PAZI II, SCOUT-03). Zum anderen untersuchen wir Möglichkeiten zur Verminderung der Klimawirkung durch andere Flugrouten und Flughöhen (BMBF-Klimaschutzprojekt, HGF-Projekt AEROTROP). Das DLR ist außerdem an den Projekten CARIBIC mit der Lufthansa und dem Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz sowie als Nachfolger des Programms MOZAIC an

IAGOS mit dem Forschungszentrum Jülich sowie der Lufthansa, British Airways und Airbus beteiligt.

Treibstoff kann auch durch bessere Wetterinformation eingespart werden, z.B. im Zusammenhang mit Wirbelschleppen an Flughäfen, bei Winterwetter und Gewittern (Projekt FLYSAFE). Schließlich befassen wir uns auch mit Fragen der Lärminderung und der Verminderung von Feinstaubbelastung im Umfeld von Flughäfen. Ab 2009 können wir unser neues Forschungsflugzeug HALO einsetzen, das Höhen von 15 Kilometern erreicht und mit modernsten Sensoren ausgerüstet wird.

Gleichzeitig arbeiten meine Kollegen im DLR daran, die Triebwerkseffizienz um etwa 20 Prozent zu steigern. Das Gewicht von Triebwerk und Zelle soll durch neue Materialien und Bauweisen reduziert und damit etwa 5 Prozent Treibstoff eingespart werden. Widerstandsreduktion (Laminarität) könnte vielleicht 15 Prozent einsparen. Neue Konfigurationen und effizientere Verkehrsführung bieten die Chance für Einsparungen um 10 bis 12 Prozent. Mit dem neuen Versuchsträger A320 werden einige der neuen Technologien praktisch erprobt.

Luft- und Raumfahrt: Sie haben angeregt, den Straßen-, Bahn- und Schiffsverkehr mit gleichen Maßstäben wie den Luftverkehr zu bewerten. Sind die Daten dieser Verkehrssysteme denn nicht schon bekannt?

Schumann: In der Tat muss man den Straßen-, Bahn- und Schiffsverkehr mit den gleichen Maßstäben wie den Luftverkehr bewerten. Das ist bisher nicht geschehen. Der gesamte Verkehrsbereich verursacht etwa 11 Prozent der weltweiten CO₂-Emissionen. Zu den Emissionen des globalen Schiffsverkehrs hat das DLR gemeinsam mit der Universität Delaware ermittelt, dass 2,7 Prozent aller anthropogenen CO₂-Emissionen aus Schiffsmotoren kommen, das ist dieselbe Größenordnung wie beim Luftverkehr. Die Wirkungen der Schiffsemissionen auf Wolken, Ozon und Klima untersuchen wir u.a. im HGF-Projekt SeaKLIM. Im europäischen Verbund im Projekt QUANTIFY haben wir mit der Ermittlung und Bewertung der Klimawirkung aller Verkehrssysteme begonnen, so dass man bald mit einer spezifischen Bestandsaufnahme rechnen kann. Das würde den neuesten IPPC-Bericht zum Klimasystem wesentlich ergänzen.

Das Interview führte Peter Pletschacher.